

Содержание тяжелых металлов в зерне озимой ржи, мг/кг, 2010 г.

Вариант		Кадмий	Никель	Медь	Цинк	Свинец
Система обработки «О»	система удобрений «У»					
Отвальная «О ₁ »	без удобрений «У ₁ »	0,038	0,38	3,25	24,8	0,14
	солома + NPK «У ₅ »	0,043	0,38	2,28	24,6	0,18
Поверхностно-отвальная «О ₃ »	без удобрений «У ₁ »	0,043	0,38	3,90	36,6	0,18
	солома + NPK «У ₅ »	0,038	0,38	3,25	24,9	0,09
по НД		0,1	0,5	3,0	50,0	1,0

Проведенный корреляционный анализ не выявил тесной взаимосвязи между урожайностью и изучаемыми показателями: токсичность почвы $r = 0,23$; $p = 0,38$; $y = 65,3620404 + 1,62009875 x$ (2008); $r = 0,30$; $p = 0,25$; $y = 61,4359059 + 0,431755091 x$ (2010); микробная токсичность: $r = -0,1253$; $p = 0,6981$; $y = -0,7644 - 0,91824x$ (2008); $r = 0,34$; $p = 0,1903$; $y = 2,636505155 + 0,932553019 x$ (2010).

Вывод

Проведение системы поверхностно-отвальной обработки на дерново-подзолистой глееватой почве и заделка соломы в качестве органического удобрения совместно с полной нормой минеральных удобрений снижают проявление фитотоксического эффекта и накопление тяжелых металлов в продукции, обеспечивают получение урожая на уровне отвальной системы.



Библиографический список

1. Коржов С.И., Маслов В.А., Орехова Е.С. Изменение микробиологической активности почвы при различных способах ее обработки // АГРО XXI. – 2009. – № 1-3. – С. 22-23.
2. Жалиева Л.Д. Грибы р. Trichoderma – регуляторы численности возбудителей корневых гнилей пшеницы // Защита и карантин растений. – 2008. – № 11. – С. 17-18.
3. Фокина А.И. Биологическая активность дерново-подзолистой пахотной почвы, загрязненной ацетатом свинца // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 7 (45). – С. 37-42.
4. Шафронов О.Д., Полухин В.Н. Тяжелые металлы в почвах реперных участков Нижегородской области // Плодородие. – 2007. – № 2 (35). – С. 7-9.



УДК 631.445.4:631.452:551.509:001.891.573

**Е.Г. Пивоварова,
Д.А. Андресен,
С.В. Усенко,
А.А. Щербакова**

**ОЦЕНКА ПРОГНОЗОВ ЭФФЕКТИВНОГО ПЛОДОРОДИЯ
ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ**

Ключевые слова: климатические изменения, прогнозирование урожайности, яровая пшеница, черноземы, моделирование, агротехнология.

В работе Jeffrey W. Whitea и др. дана методологическая оценка исследованиям в

области прогнозов продуктивности различных культур под действием климатических изменений [1]. Так, за последнее время опубликовано около 170 статей, предлагающих модели урожайности пшеницы, кукурузы, сои и риса. Это необходимо для того, чтобы предсказать потенциальные

воздействия изменения климата в будущем на продуктивность с.-х. культур и исследовать возможности для адаптации производства местными производителями. Качество этих моделей зависит от того, насколько обоснован выбор метода, какие географические области охватывает, какие климатические модели используются для генерации суточных параметров и насколько они учитывают топографию местности. Важным моментом в выборе модели являются технологические параметры, такие как даты проведения основных технологических операций, сорта и др.

Самые первые исследования по моделированию влияния климатических изменений на урожайность пшеницы и кукурузы были нацелены на проектирование долгосрочного устойчивого производства мелких фермеров [2, 3]. Сегодня географический охват исследованиями по данной тематике довольно обширен – около 55 статей по США и 64 работы по европейским странам и только 3 статьи среди стран прежнего Советского Союза [1].

Наиболее обоснованными считаются процесс-ориентированные модели, которые прогнозируют изменение продуктивности культур, на основе энергетического подхода, моделируя изменение таких физиологических параметров культур как эффективность использования солнечной радиации (RUE), листового коэффициента (LAI_{max}) – увеличение площади листа за счет дефицита влаги.

Среди перспективных направлений следует отметить модели урожайности, которые учитывают эффекты влияния CO₂ на температуру в приземном слое почвы [4, 5]. Одновременно следует отметить, что модели, используемые в качестве прогнозирующих инструментов, должны быть максимально простыми [6]. Это означает, что модели не должны охватывать больше, чем три уровня в масштабе иерархии: молекулярный, биохимический, клеточный, орган, растение и биоценоз. Главный встречный аргумент – если параметры модели должным образом обоснованы, проверены и изучены, то это не является основанием для того, чтобы ограничивать сложность. Кроме того, неудача чрезмерно простых моделей заключается в том, что важные, ныне учтенные обратные связи могут уменьшить точность их предсказаний [7]. Последние 3-й и 4-й отчеты IPCC (Межправительственной группы экспертов по изменению климата) озвучили необходимость активизировать исследования по разработке и сравнению моделей урожайности [8].

С учетом современных требований была разработана региональная модель урожайности яровой пшеницы на основе климати-

ческих и технологических параметров, предназначенная для прогнозирования урожайности на длительный период [9]. Цель данной работы – разработка метеорологических прогнозов, расчет на их основе урожайности яровой пшеницы и анализ тенденций ее варьирования на период до 2099 г.

Объекты и методы

Моделирование долгосрочных климатических прогнозов производилось на основе существующих глобальных моделей, использованы 4 модели: CCSM(USA), ECHAM (Германия), HAD((Великобритания), INMC (Россия). Прогноз рассчитан для двух сценариев: A2 – это сценарий с учетом повышения эмиссии углерода в условиях потепления климата и B1-сценарий, предполагающий незначительные изменения эмиссии углерода при изменении климата. На основе прогноза CCSM-модели и стохастического погодного генератора CLIGEN генерированы суточные параметры: максимальная и минимальная температура, количество осадков и суммарная солнечная радиация для сценария A2 [10]. Полученные результаты были использованы в модели урожайности в качестве исходных данных.

Для прогнозов урожайности яровой пшеницы использованы информационно-логическая модель, разработанная на основе результатов многолетнего полевого эксперимента, заложенного в условиях Алтайского Приобья на базе Алтайского НИИСХ по изучению влияния способов основной обработки почв, системы защиты и удобрения [9]. Опыт заложен на склоне юго-восточной экспозиции крутизной 1-2° на черноземе выщелоченном среднемощном малогумусном среднесуглинистом. Схема опыта:

Варианты основной обработки почвы:

1 – глубокая плоскорезная обработка КПГ-250 на 25-27 см; 2 – мелкая плоскорезная обработка КПШ-5 на 14-16 см; 3 – поверхностная обработка КПЭ-3,8 на 8 см.

Варианты защиты растений: 1 – без использования химических средств защиты растений; 2 – Г-1, гербициды против двудольных сорняков (Секатор, 150 г/га или Гран стар, 10 г/га (с 2005 г.)), 3 – Г-2, гербициды противодно- и двудольных сорняков (Пума-супер 100, 06 л/га и Секатор или Гран стар); 4 – ГИФ, комплексная защита растений (гербициды – Секатор или Гран стар и Пума-супер 100, инсектицид – Децис, 0,2 л/га, фунгицид – Фалькон, 0,6 л/га).

Варианты удобрения: 1 – без удобрений; 2 – P₂₅; 3 – N₆₀P₂₅ (азот в форме аммиачной селитры, рядковое предпосевное внесение СЗС-2,1; фосфор – двойной суперфосфат в рядок при посеве).

В опыте выращивались районированные сорта яровой пшеницы (Алтайская 50 в 2001-2005 гг. и Алтайская 100 в 2006-2010 гг.). Севооборот шестипольный зернопаровой пар-пшеница-овес-пшеница-горох-пшеница, т.е. пшеница выращивалась по 3 различным предшественникам и вариант выращивания пшеницы бессменно.

Результаты и обсуждение

Климатические прогнозы. Известно, для того чтобы гарантировать надежную оценку прогнозов, период времени (на основании которого строится модель) должен быть достаточно длинным и закончиться максимально близко к периоду прогнозирования [1]. Сравнительный анализ моделей, участвовавших в программе AMIP, показал, что имеется ряд моделей, которые демонстрируют высокое качество расчета сезонного хода радиационных, термических и влажностных характеристик климата на крупных водосборах. При этом подавляющее большинство характеристик климата, полученных

по ансамблю моделей, лучше согласуются с данными наблюдений, чем соответствующие характеристики отдельно взятых моделей, даже высокого качества. Все эти условия были учтены при разработке прогнозов климатических изменений для условий Алтайского Приобья. Для моделирования глобальных климатических прогнозов использованы исторические данные по Барнаульской метеостанции за период 1977-2009 гг. Результаты свидетельствуют о том, что все модели дают прогноз достоверного увеличения среднегодовых температур на период 2020-2099 гг., различия лишь в размерах прироста (рис. 1, 2). При условии, что эмиссия углерода возрастать не будет (сценарий B₁), увеличение средней годовой температуры составит +1-2⁰C, максимальный прирост дает модель CCSM. Если эмиссия углерода будет расти (под действием природных или антропогенных факторов), увеличение среднегодовой температуры может достичь +4,5-6⁰C.

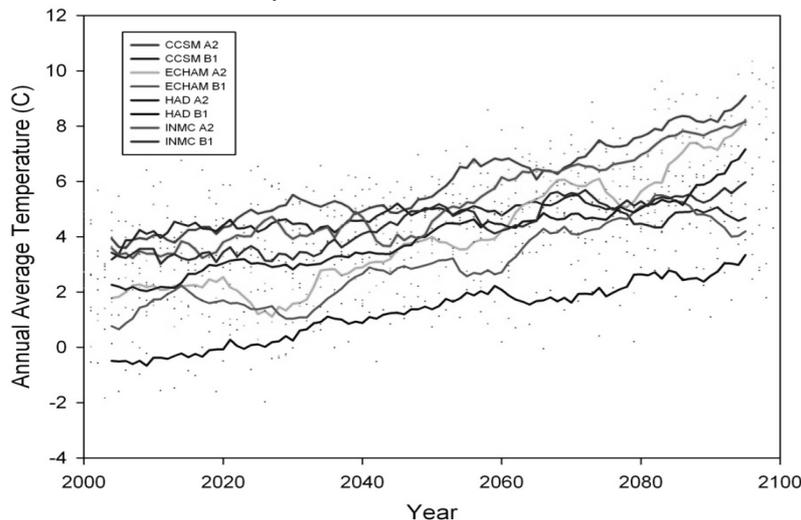


Рис. 1. Тенденции изменения среднегодовых температур на период 2010-2099 гг. в Алтайском Приобье (по Барнаульской метеостанции)

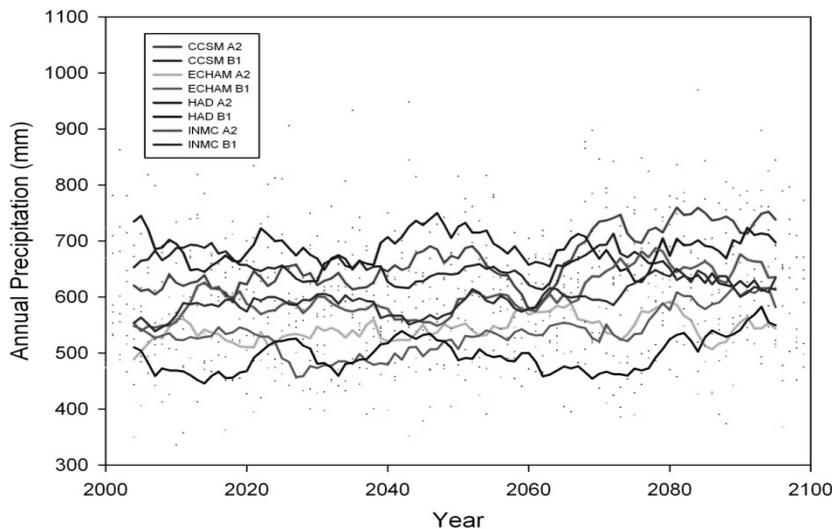


Рис. 2. Тенденции изменения среднегодового количества осадков на период 2010-2099 гг. в Алтайском Приобье (по Барнаульской метеостанции)

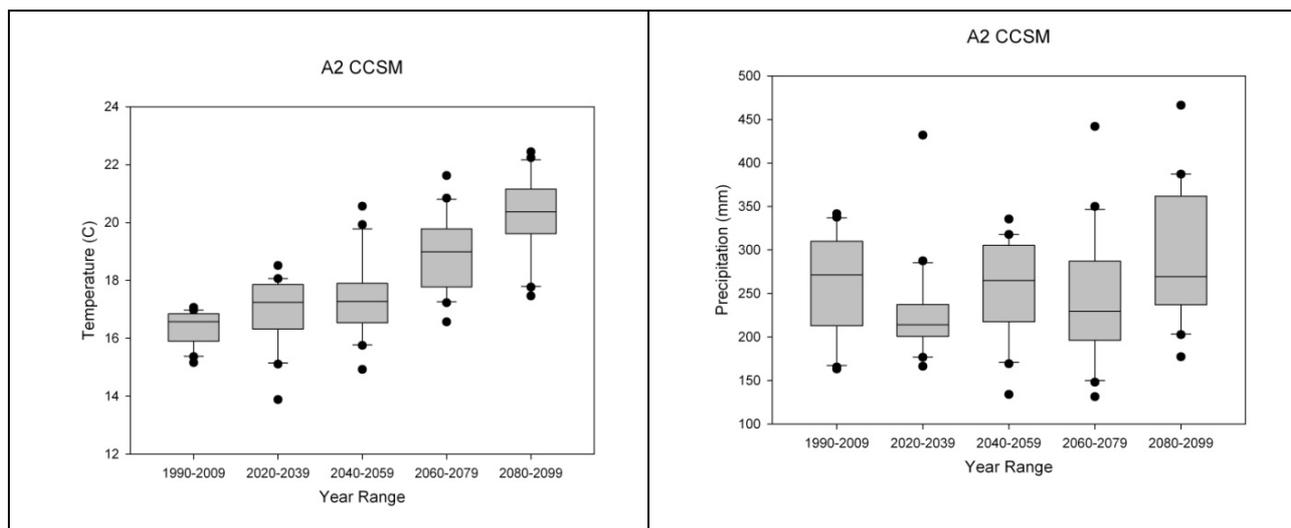


Рис. 3. Долгосрочный прогноз (1990–2099 гг.) динамики средней температуры и осадков в течение вегетационного периода (май–сентябрь)

Полученные результаты согласуются с оценками МГЭИК – среднее по ансамблю из 7 моделей глобальное потепление климата в России для сценария В2 составляет 1,3°C к середине XXI в. (2041–2060 гг.). На фоне общего глобального потепления наибольшее повышение приземной температуры в XXI в. отмечается зимой в Сибири и на Дальнем Востоке. Так, повышение температуры вдоль побережья Северного Ледовитого океана составляет 4°C в середине XXI в. и 7–8°C в его конце (2080–2099 гг.) [11].

Анализ вариации годового количества осадков не выявил определенной тенденции в изменении за период 2020–2099 гг. (рис. 2). Однако при среднем многолетнем количестве 495 мм все прогнозы указывают на увеличение суммы осадков до 500–700 мм [12]. Еще один важный аспект при характеристике климатических изменений – это распределение температур и осадков в течение вегетационного периода (май–сентябрь). По результатам сценария CCSMA2 отмечается существенный рост средней температуры с 2060 г., к концу столетия может достичь +20,0°C против +17,0°C за вегетацию на период, предшествующий прогнозу (рис. 3). Количество осадков за вегетационный период будет варьировать в пределах 220–270 мм, по сравнению с периодом 1990–2009 гг. (231–242 мм). Это увеличение незначительное и согласуется с литературными данными. Так, средние по ансамблю оценки глобального роста среднегодовых осадков составляют 1,8 и 2,9%, соответственно, для середины и конца XXI в. [11]. Среднегодовой рост осадков на всей территории России значительно превышает указанные глобальные изменения. При этом на многих российских водосборах осадки возрастают не только зимой, но и летом. Однако в теплое время года рост осадков

оказывается заметно меньшим и наблюдается в основном в северных регионах, в Сибири и на Дальнем Востоке. Летом усиливаются преимущественно конвективные осадки, что указывает на возможность увеличения повторяемости ливней и связанных с ними экстремальных режимов погоды [13].

Анализ показывает, что потепление климата и связанный с ним рост осадков на водосборах России в XXI столетии существенно превышает среднеглобальные значения, особенно зимой. Несмотря на летний рост осадков, на большей части территории России формируются более засушливые условия, по сравнению с современными. Это особенно выражено на южных и западных водосборах и вызвано более ранним таянием снега и усилением испарения с подстилающей поверхности. На водосборах центральной и восточной Сибири накопленная масса снега зимой увеличивается, и максимум весеннего стока за счет его таяния также возрастет. В результате увеличивается вероятность появления крупных весенних паводков на этой части территории России [14, 15].

Прогнозирование урожайности. Разработанная модель урожайности яровой пшеницы позволяет, используя прогнозы суточных температур и осадков, рассчитать урожайность яровой пшеницы с высокой точностью, коэффициент корреляции фактических данных с прогнозируемыми составляет 0,79–0,82 в зависимости от предшественника [10]. Оправданность безошибочных прогнозов ($\gamma = n \cdot 100 / N$, где n – количество оправданных прогнозов, N – всего прогнозов) составляет 24,0–47,8%, а с ошибкой в 1 ранг (0,5 т/га) достигает 74,0–97,0%.

С помощью полученной модели были рассчитаны прогнозы урожайности яровой пшеницы для 36 вариантов различных агро-

технологий на период с 2020 по 2099 гг. (табл.). Существенные различия урожайности наблюдаются в зависимости от предшествующей культуры, наиболее высокая урожайность (4-й ранг) на весь прогнозируемый период отмечается по пару и гороху, что соответствует 2,0-2,5 т/га, по овсу и бессменной пшенице прогнозируется снижение урожайности на 1 ранг, т.е. до 1,5-2,0 т/га.

С учетом НСР (0,25 т/га) достоверных различий по средней урожайности за период 2020-2039 и 2040-2059 гг. не обнаружено, средняя урожайность за каждый период не превышает 3-го ранга (1,5-2,0 т/га). Полученные прогнозы свидетельствуют о статистически достоверном увеличении средней урожайности в период с 2060 по 2079 и с 2080 по 2099 гг. до 2,0-2,5 т/га.

Континентальный климат исследуемой территории является причиной значительной вариации урожайности с.-х. культур по годам. В полученных прогнозах вариабельность урожайности по годам составляет 14,9-18,7%. Наиболее подвержены влиянию контрастности метеорологических условий вегетационного периода посевы бессменной пшеницы. Сравнение 20-летних периодов с 2020 по 2099 гг. по прогнозируемой урожайности пшеницы позволяет судить о тен-

денциях долговременных изменений климатических условий по тому, как изменяется частота лет с критически низкой (1-2-й ранги) и с повышенной урожайностью (5-й ранг) в пределах анализируемого периода (табл.).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в будущем урожайность бессменной пшеницы будет стабильно ниже по сравнению с другими предшественниками – урожайность 1,5-2,0 т/га по прогнозам будет наблюдаться каждые 6-7 лет из 10, каждые 1-2 года урожайность менее 1,5 т/га и каждые 2 года из 10 – более 2,0 т/га. Пшеница, размещенная по пару и по гороху, обеспечит более высокий уровень урожайности особенно в период 2020-2039 и 2060-2079 гг. – каждые 7-8 лет из 10 прогнозируется 2,0-3,0 т/га, а в конце столетия (2080-2099 гг.) такой уровень урожайности будет наблюдаться только 5 лет из 10, в остальное время – менее 2,0 т/га. Урожайность пшеницы по гороху и овсу в прогнозируемые периоды варьирует без четко выраженной тенденции. В период 2020-2039 гг. урожайность пшеницы по овсу в основном не превысит 2,0 т/га (73%), а в 2060-2079 гг. каждые 5-6 лет из 10 прогноз обещает урожайность 2,0-2,5 т/га и более.

Таблица

Варьирование прогнозируемой урожайности яровой пшеницы по временным периодам, % от длительности периода

Урожайность ц/га, (ранг)	Предшественник			
	овес	горох	бессменная пшеница	пар
2020-2039 гг.				
1,0-1,5 (2)	10.5		10.5	
1,5-2,0 (3)	63.2	31.5	63.1	21
2,0-2,5 (4)	26.3	68.4	26.3	68
2,5-3,0 (5)				11
Средний ранг урожайности, НСР = 0,17	3,18	3,74	3,18	3,8
Коэффициент вариации V, %	17,6	16,8	15,4	16,3
2040-2059 гг.				
1,0-1,5 (2)	10		20	
1,5-2,0 (3)	45	45	60	45
2,0-2,5 (4)	40	50	20	50
2,5-3,0 (5)	5	5		5
Средний ранг урожайности, НСР = 0,18	3,37	3,61	3,05	3,68
Коэффициент вариации V, %	16,9	15,8	18,7	15,5
2060-2079 гг.				
1,0-1,5 (2)	5		15	
1,5-2,0 (3)	40	35	60	35
2,0-2,5 (4)	50	60	25	60
2,5-3,0 (5)	5	5		5
Средний ранг урожайности, НСР = 0,18	3,46	3,71	3,15	3,77
Коэффициент вариации V, %	15,9	14,8	17,5	14,9
2080-2099 гг.				
1,0-1,5 (2)			15	
1,5-2,0 (3)	60	50	65	50
2,0-2,5 (4)	35	40	20	40
2,5-3,0 (5)	5	10		10
Средний ранг урожайности, НСР = 0,18	3,41	3,66	3,10	3,72
Коэффициент вариации V, %	16,4	15,3	18,1	15,1

В отношении влияния остальных элементов агротехнологии (обработки почвы, вариантов удобрения и защиты растений) на урожайность яровой пшеницы в условиях климатических изменений достоверных различий не выявлено. Это обусловлено тем, что пространственная и временная вариация урожайности яровой пшеницы превышает прибавки, полученные в результате данных агротехнических приемов.

Заключение

Таким образом, влияние климатических изменений на урожайность основной с.-х. культуры на текущее столетие будет выражаться в усилении континентальности климата и увеличении числа лет с критическими для яровой пшеницы условиями. Основными инструментами агротехнологии, регулируемыми продовольственную безопасность региона, должны стать адаптированные для новых условий севооборота, новые сорта, изменение сроков проведения технологических операций.

Библиографический список

1. Whitea J.W., Hoogenboom G., Kimball B. Wall G. W. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *FieldCropsResearch*. – 2011. – № 124. – P. 357-368.
2. Rosenzweig C., 1985. Potential CO₂-induced climate effects on North American wheat-producing regions. *Climatic Change* 7. – P. 367-389.
3. Liverman, D.M., Terjung, W.H., Hayes, J.T., Mearns, L.O., 1986. Climatic change and grain corn yields in the North American Great Plains. *Clim. Change* 9. – P. 327-347.
4. Cao, L., Bala, G., Caldeira, K., Nemani, R., Ban-Weiss, G., 2010. Importance of carbon dioxide physiological forcing to future climate change. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 107. – P. 9513-9518.
5. Kimball, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M., 2002. Responses of agricultural crops to freeair CO₂ enrichment. *Adv. Agron.* 77. – P. 293-368.
6. Passioura, J.B., 1996. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering? *Agron. J.* 88. – P. 690-694.
7. Adam, M., Van Bussel, L.G.J., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Ewert, F., 2011. Effects of modelling detail on simulated potential crop yields under a wide range of climatic conditions. *Ecol. Model.* 222. – P. 131-143.
8. Reilly, J.M., Baethgen, W., Chege, F.E., van de Geijn, S.C., Lin, E., Iglesias, A., Kenny, G., Patterson, D., Rogasik, J., Roet-

ter, R., Rosenzweig, C., Sombroek, W., Westbrook, J., 1996. Agriculture in a changing climate: impacts and adaptation. In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. (Eds.), *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses-Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. – P. 427-467.

9. Пивоварова Е.Г., Люцигер А.О., Усенко С.В., Гаркуша А.А. Разработка частной модели управления плодородием черноземных почв в условиях климатических изменений Алтайского Приобья. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2012. – № 11. – С. 34-38.

10. Nicks A.D., Gander G.A. CLIGEN: A weather generator for climate inputs to water resource and other models. In: *Computers in Agriculture 1994: Proc. 5th Int. Conf.*, eds D.G. Watson, F.S. Zazueta, and T.V. Harrison. – P. 903-909.

11. Четвертый оценочный доклад МГЭИК, 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). IPCC, Geneva, Switzerland.

12. Справочник по климату СССР. Выпуск 20. – Л.: Гидрометиздат, 1965. – 332 с.

13. Kattsov V.M., Walsh J.E., Rinke A. and Dethloff K., Atmospheric Climate Models: Simulation of the Arctic Ocean Fresh Water Budget Components. In *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*, E.L. Lewis (ed.), Kluwer Academic Publ., 2000. Dordrecht. – P. 209-247.

14. Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А., Демченко П.Ф., Елисеев А.В., Катцов В.М., Малевский С.П., Мохов И.И., Надежина Е.Д., Семенов В.А., Спорышев П.В., Хон В.Ч. Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей // *Метеорология и гидрология*. – 2004. – № 4. – С. 38-49.

15. Павлова Т.В., Мелешко В.П., Говоркова В.А. Характеристики теплового и водного баланса на водосборах крупных рек в модели атмосферы ГГО рассчитанные в рамках международного проекта сравнения моделей атмосферы AMIP-I и AMIP-II. *Труды ГГО им. А.И. Воейкова*. – Спб.: Гидрометеиздат, 2001. – Вып. 550. – С. 85-109.

Работа выполнена при поддержке международного гранта РФФИ № 10-04-92506-ИК_а и CRDF № RUB1-2988-BR-10.

